



The application of non-equilibrium thermo field dynamics to the laser

著者	Tominaga Tetsuo
内容記述	Thesis--University of Tsukuba, D.Sc.(A), no. 346, 1986. 3. 25
発行年	1986
URL	http://hdl.handle.net/2241/5803

氏 名 (本 籍) 富 永 哲 雄 (茨城県)

学 位 の 種 類 理 学 博 士

学 位 記 番 号 博 甲 第 346 号

学 位 授 与 年 月 日 昭和61年 3 月 25 日

学 位 授 与 の 要 件 学位規則第 5 条第 1 項該当

審 査 研 究 科 物理学研究科

学 位 論 文 題 目 The Application of Non-Equilibrium Thermo Field Dynamics to the Laser
(非平衡Thermo Field Dynamicsのレーザーへの応用)

主 査 筑波大学教授 理学博士 高 野 文 彦

副 査 筑波大学教授 理学博士 沢 田 克 郎

副 査 筑波大学教授 理学博士 小 寺 武 康

副 査 筑波大学助教授 理学博士 高 田 慧

論 文 の 要 旨

Thermo Field Dynamicsは、統計力学において密度行列を用いて集団平均をとる処法を、場の量子論の形に形式化したもので、場の量子論で用いられている方法、たとえば摂動展開におけるファインマン図形、グリーン関数がそのまま利用できる利点をもっている。この方法を非平衡状態に拡張する理論が最近開発され、非平衡Thermo Field Dynamics (NETFDと略記)と呼ばれている。

通常の非平衡統計力学では、熱浴を含めた微視的なリウヴィユ方程式から出発し、熱浴の変数を適当な方法によって消去することによって、考えている系に対する緩和を含むマスター方程式を導出する。系が大きいときは、さらに微視的な変数を消去して巨視的な変数に対する方程式を求めるという手続きをとる。

NETFDでは、熱浴をあらわに考慮せずマスター方程式をつくる。そのためには物理的な系を拡張して人為的な系をつけ加え、この拡張した系に対するマスター方程式を、

$$\frac{\partial}{\partial t} |O(t)\rangle = -i\hat{H} |O(t)\rangle \quad (1)$$

と表わし、この \hat{H} に対していろいろな条件をつけることにより、上式が緩和を含んでいるようにすることができる。

この論文は、NETFDを実際の物理系に初めて応用したもので、実際の系としてレーザー、つまり

多数の 2 準位原子とそれらと相互作用をする光子、を考える。

この論文は 4 章より成る。第 1 章では NETFD の紹介とレーザーに対する従来の理論が簡単に紹介されている。第 2 章以下が主要部分で、まずレーザー系における 2 準位原子は大きさ $1/2$ のスピン演算子によって表わされることから、スピン系に対する NETFD の形式化を第 2 章で行う。簡単なボーズまたはフェルミ型の演算子に対しては NETFD の形式化は完成しているが、より複雑なスピン演算子に対しては特別な工夫が必要であるが、著者は便利な方法を発見して、スピンに対して縦緩和と横緩和を含む一般的な緩和方程式が得られることを示している。

第 3 章ではレーザーに対する NETFD の応用を論じている。原子系に対しては第 2 章の結果を用い、光子に対しては古典的表現であるコヒーレント表示を出発点とし、ボーズ演算子とコヒーレント表示との差（量子ゆらぎ）を摂動としてとり扱う。そして原子系の変数を消去した光子系マスター方程式の導出に成功している。

この方程式は、レーザーの非発振状態から出発して発振状態に到達するまでのあらゆる変化を記述できるものと期待されるが、複雑な形のため一般的な解析はなされていない。その代りに長時間の極限をとって単純化し、従来の理論の結果と比較している。従来の理論では、原子系と光子と結合定数 g による摂動計算を行っているため、結果は g のべき級数の形で与えられているのに対し、このとり扱いでは光子の古典的振幅に対応する項がくり込まれており、一種の飽和現象がおきていることが示されている。

最後の第 4 章では、理論のまとめと今後の課題について述べている。

審 査 の 要 旨

この論文は次の 2 点で価値がある。

- (1) NETFD の形式化をスピン系に対して行ったこと。
- (2) 実際の物理系に NETFD を初めて適用したこと。

とくに後者のレーザーに対する応用では非発振の状態から発振状態へ移るという、いわゆる対称性の破れの時間発振を支配する方程式を得ており、他の同様な問題、たとえば非平衡超伝導の問題への適用の際の指針になるものとして高く評価される。

この理論は、この意味で初めての試みであるため、いろいろな問題も残っている。第 4 章にも述べているように、摂動にとった量子ゆらぎの影響を最終的な定常状態で正し考慮すること、摂動の高次の項を場の理論の処法、たとえばグリーン関数を用いて計算することなどである。

さらに対称性の破れに関しては、この処法が正しいか否かの検証も必要であるものと思われる。この問題は非平衡統計力学において極めて興味ある重要な問題であり、今後の発展が期待される。

よって、著者は理学博士の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。